

# ARISE

## Una infraestructura de investigación europea que combina tres técnicas de medición



La primera tecnología utilizada para detectar ensayos nucleares secretos podría ayudar a los predictores a facilitar previsiones meteorológicas hasta con un mes de antelación. Este es uno de los objetivos de un nuevo y apasionante proyecto de investigación internacional, la Infraestructura para la investigación de la dinámica atmosférica en Europa (ARISE), proyecto que se puso en marcha en enero de 2012. Teniendo en cuenta algunos estudios que muestran que las capas altas de la atmósfera terrestre podrían ofrecer información crucial para aumentar la exactitud de los pronósticos meteorológicos a largo plazo, en escalas de hasta cuatro semanas, doce socios de ocho estados miembros europeos y un país asociado han unido fuerzas para combinar mediciones de la estratosfera y de la mesosfera tomadas por tres tipos de instrumentos diferentes.

El proyecto ARISE pretende reactivar la colaboración existente entre los científicos europeos, al tiempo que desarrolla e integra, por vez primera, numerosas materias complementarias, tales como el infrasonido, las ondas de gravedad y planetarias, las perturbaciones estratosféricas y mesosféricas, los estudios sobre observaciones por satélite y la modelización de la atmósfera, y la dinámica atmosférica. Se espera con ello un gran avance en la modelización de la atmósfera, en la predicción del tiempo y en la vigilancia de fenómenos extremos de importancia para los servicios de protección civil. Proporcionará nuevas imágenes tridimensionales del estado de la atmósfera y de su variabilidad espacial y temporal.

### **Dinámica de la atmósfera**

Durante mucho tiempo la atmósfera ha sido considerada un medio estratificado con interacciones despreciables entre las capas altas y la troposfera, en la que vivimos. Sin embargo, estudios recientes han revelado el papel clave que la dinámica de la media y alta atmósfera puede jugar tanto en el tiempo como en el clima troposféricos. Las oscilaciones atmosféricas, en particular las ondas de gravedad y planetarias, impulsan esta interacción así como muchos de los sistemas de circulación globales a gran escala en la media y la alta atmósfera, incluyendo

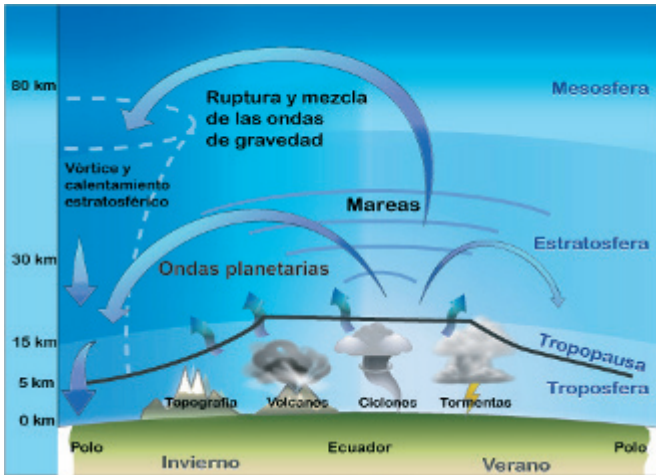
la circulación de Brewer-Dobson y las oscilaciones casi bienal y semianual.

Las ondas atmosféricas transportan energía y momento lineal de unas regiones a otras. El origen y la dinámica de las ondas planetarias y de las ondas de gravedad son muy diferentes. Las ondas planetarias deben su existencia al gradiente de vorticidad potencial que hay entre los polos y el ecuador y se producen por flujos de carácter orográfico y por flujos entre la tierra y el océano a causa de contrastes térmicos. Son las más importantes en latitudes medias y altas y pueden generar grandes anomalías en los valores medios climatológicos. Conocer la posición y la estructura de las zonas de cizalladura en el flujo medio donde las ondas planetarias rompen es crucial para comprender y predecir episodios de calentamiento estratosférico repentino. Las observaciones de alta resolución de la estratosfera podrían mejorar en gran medida nuestra comprensión de estas llamadas capas "críticas".

Las ondas de gravedad son más ubicuas y existen en un rango de escalas espaciales que va desde la planetaria hasta unos pocos kilómetros. Se producen tanto por la interacción del flujo con la orografía como por la convección profunda debida, por ejemplo, a las tormentas. Estas ondas juegan un importante papel en la configuración del clima medio de la estratosfera y de la mesosfera, y en la generación de oscilaciones tropicales predecibles de las velocidades de viento medias, con lo que pueden aumentar la predecibilidad del sistema climático. Las ondas de gravedad de menor escala no son resueltas por los modelos climáticos típicos y solo lo son parcialmente por los modelos de predicción del tiempo. Los modelos climáticos, por tanto, deben parametrizarlas para asegurar una simulación más exacta del clima medio en la media y alta atmósfera, así como de su variabilidad. Sin embargo, muchos de los parámetros son inciertos debido a la carencia de series largas de observaciones de alta resolución.

Las amplitudes de las mareas atmosféricas son grandes en la atmósfera media. Las mareas producidas por el ozono estratosférico y por el vapor de agua en la alta troposfera

pueden dar lugar a alguna diferencia sistemática entre mediciones no simultáneas y suponen un importante problema para la validación de las observaciones satelitales y para la variabilidad a largo plazo cuando los instantes de medida cambian. Aunque la teoría de las mareas está bien consolidada, su amplitud y su fase exactas no se han caracterizado aún debido a la escasez de observaciones. Las mediciones realizadas por el proyecto ARISE permitirán la validación de las simulaciones de mareas con modelos numéricos, que se utilizarán para llevar a cabo correcciones sistemáticas de las comparaciones de los satélites y cálculos de tendencias.



*Dinámica de los intercambios troposfera-estratosfera-mesosfera en los que se ha incluido la contribución de las ondas de gravedad y de las ondas planetarias.*

## El concepto del proyecto

El estudio del diseño del proyecto ARISE conceptualizará una nueva infraestructura que integrará distintas redes de observación atmosférica proporcionando una nueva imagen tridimensional de la atmósfera en cada una de sus capas, desde la superficie terrestre hasta la mesosfera, con una resolución espacial y temporal sin precedentes. El proyecto abarcará Europa y las zonas adyacentes, incluyendo las regiones polares y ecuatoriales.

La infraestructura incluirá las redes de infrasonido desarrolladas para la verificación del Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares (CTBT), la Red para la detección de cambios en la composición de la atmósfera (NDACC) —que utiliza tecnología lidar (detección y localización por ondas luminosas)— y la Red para la detección de cambios en la mesopausa (NDMC), dedicada a realizar medidas de la capa luminiscente mesosférica. También se incluirán algunas estaciones complementarias de infrasonido de varios países, estaciones vulcanológicas específicas de infrasonido y conjuntos de sensores ionosféricos utilizados para determinar el acoplamiento con el espacio próximo a la Tierra.

Los datos recopilados por estas múltiples redes se analizarán para extraer una estimación optimizada del

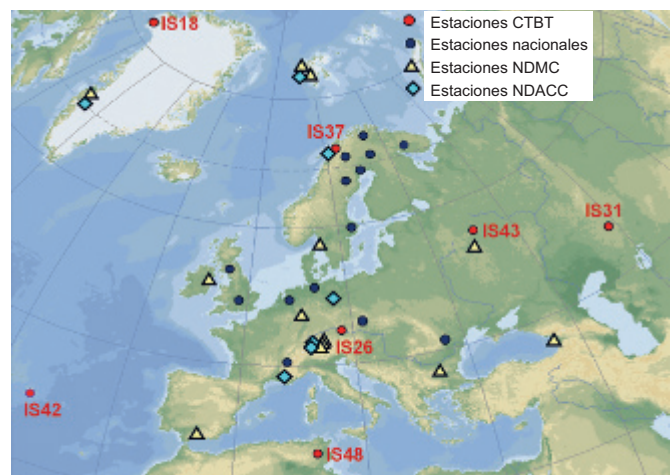
estado cambiante de las diferentes capas atmosféricas, lo que ayudaría a reducir la parametrización de las ondas de gravedad y a inicializar mejor las predicciones para la media y la alta atmósfera.



*Espectrómetro de luminiscencia atmosférica instalado en el observatorio Schneefernerhaus, junto a la cima del monte Zugspitze.*

Entre los beneficios que se espera obtener están una mejor descripción de la atmósfera y una exactitud mayor para las predicciones del tiempo a corto y a medio plazo. Las mediciones de ARISE también se utilizarán para mejorar la representación de las ondas de gravedad en los modelos climáticos capaces de resolver la estratosfera, lo que es crucial para estimar el impacto de una variedad de forzamientos climáticos estratosféricos sobre la troposfera. Los datos se emplearán para la vigilancia del clima de la atmósfera en los niveles medios, sus tendencias promedio a largo plazo y los cambios en los fenómenos extremos. Los beneficios se extenderán a aplicaciones de uso civil relacionadas con la vigilancia de riesgos naturales.

El estudio de diseño de ARISE tiene como objetivo integrar y coordinar comunidades científicas que nunca



*Mapa de las estaciones que participan en el proyecto ARISE.*

han trabajado juntas previamente y diseñar una gran infraestructura que aporte valor significativo para la comprensión de la atmósfera. Una gran parte del proyecto está dedicada a definir las especificaciones de nuevos parámetros observacionales con un alto valor añadido que pueden obtenerse a partir de las diferentes técnicas de medición. También integrará estudios y simulaciones basados en datos utilizados para la modelización de la atmósfera y para la predicción del tiempo y del clima.

## **Impactos y beneficios sociales**

La vigilancia de la atmósfera terrestre con datos de tecnologías vanguardistas que utilizan mediciones de infrasonido, lidar y luminiscencia ofrece una gran diversidad de aplicaciones para la protección civil que pueden contribuir a la seguridad y al bienestar del ser humano. El conjunto de datos avanzados del proyecto ARISE, relativos a los fenómenos relacionados a continuación, se empleará para la vigilancia de episodios extremos y para aplicaciones de protección civil.

### **Vigilancia de volcanes y seguridad aérea**

Las mediciones de las ondas atmosféricas infrasonicas son importantes en la vigilancia de volcanes y fenómenos extremos. El seguimiento de los infrasonidos emitidos por volcanes proporciona información relevante sobre la expulsión de ceniza a la atmósfera cuando no se dispone de información de los satélites a causa de la nubosidad. El Grupo de operaciones para la vigilancia de

volcanes en las aerovías internacionales, respaldado por la Organización de Aviación Civil Internacional, fomenta el desarrollo de herramientas para la detección y la predicción de la ceniza volcánica, y reconoce la utilidad de la tecnología de infrasonidos para este propósito.

La densidad global de estaciones de observación de infrasonidos está en continuo aumento y las señales procedentes de los volcanes se registran de forma rutinaria. Las características de las señales detectadas y el rango máximo para la observación de estas señales dependen del tipo de erupción, que puede tener un comportamiento efusivo o explosivo. En ocasiones grandes erupciones liberan cantidades significativas de ceniza en la alta atmósfera. La región geográfica cubierta por el proyecto ARISE abarca volcanes localizados en Europa (Italia, Islandia) y en África (Tanzanía, República Democrática del Congo, Comoras y Reunión). Además, los sistemas de sensores portátiles de infrasonido instalados cerca del cráter de volcanes activos aportarán valiosas observaciones y medidas. Estos datos deberían ayudar a la comunidad científica a comprender mejor las particularidades de los volcanes individuales, permitiendo incrementar la participación de Europa en los sistemas de avisos vulcanológicos.

Con la futura finalización de la Red de infrasonidos del Sistema de vigilancia internacional (IMS), complementada con las instalaciones nacionales, será más fácil lograr el objetivo de proporcionar notificaciones de detección de explosiones volcánicas inmediatas a los



*Experimento con infrasonidos en el volcán Yasur, isla de Tanna (Vanuatu).*

Centros de avisos de cenizas volcánicas. Estos sistemas de alerta temprana ayudarán a prevenir los desastres causados por las erupciones y a mitigar el impacto de las nubes de ceniza en la aviación.

### Movimientos de masas de la superficie terrestre

La utilización de los datos de infrasonido del proyecto ARISE para estudiar los riesgos naturales relacionados con los desplazamientos masivos de tierra (terremotos, corrimientos de tierra y aludes), también es importante para los programas de protección civil.

La tecnología de infrasonidos detecta y localiza movimientos en la superficie terrestre. Los mapas de intensidad del infrasonido que caracterizan a los grandes terremotos pueden ayudar a identificar regiones pobladas con un alto riesgo de desastre. Para fenómenos específicos, podría llevarse a cabo un análisis detallado de la señal para identificar la localización de las fuentes de acoplamiento tierra-aire, que se compararía con los mapas de intensidad sísmica.

La evaluación del riesgo de aludes está relacionada sobre todo con las condiciones meteorológicas y con el manto de nieve. La predicción del riesgo de aludes a partir de la modelización de la nieve se encuentra aún en una fase inicial y su validación requiere observaciones objetivas de aludes. Estas observaciones son principalmente visuales aunque, desde hace varios años, se están complementando con la detección sísmica experimental. Por consiguiente, la observación de aludes se beneficiaría en gran medida del infrasonido, ya que es la única tecnología capaz de detectar las variaciones de presión producidas por las avalanchas de nieve. En el proyecto ARISE se analizarán cientos de señales detectadas por los conjuntos de sensores de infrasónicos desplegados en los Alpes para evaluar si es posible identificar aludes sin ambigüedad. Esto tendría un enorme impacto, a nivel mundial, tanto en la modelización de la predicción como en la gestión de riesgos.

Durante el desarrollo del proyecto ARISE, también se desplegarán equipos móviles en los Alpes para medir las características de las señales infrasónicas producidas por avalanchas de nieve tanto artificiales como naturales. Todos los años, se llevan a cabo experimentos con aludes en diversos lugares de Suiza y Austria. El proyecto ARISE puede servir para reforzar el trabajo de los ingenieros civiles especializados en la gestión del riesgo de aludes. Su detección y localización complementaría las observaciones humanas, confirmando la aparición de estos fenómenos cuando hay condiciones de baja visibilidad, como es el caso de las áreas montañosas remotas, cuando se dan condiciones de mal tiempo o simplemente es de noche. Un buen conocimiento de las firmas infrasónicas de las avalanchas ayudaría también a identificar y proporcionaría información de situaciones no observables de inestabilidad en el manto de nieve, potencialmente precursoras de episodios mayores, del mismo modo que se observan temblores sísmicos antes de terremotos importantes.

### Fenómenos meteorológicos adversos

Los datos recogidos por las redes de infrasonido, lidar y luminiscencia atmosférica, deberían de ayudar a comprender mejor las propiedades de la alta atmósfera y su variabilidad en el tiempo. Centralizada en una base de datos, esta información proporcionaría un único conjunto de datos para la vigilancia continua y a largo plazo de la intensidad y de la evolución de los fenómenos extremos, desde las tormentas violentas a los tornados y los ciclones.

Las campañas Eurosprite, que se iniciaron en 2005 en varios países, utilizan cámaras ópticas y otros instrumentos complementarios con los que detectar los efectos luminosos transitorios (espectros o "sprites") que ocurren por encima de las enormes células tormentosas, en la media atmósfera. En línea con estas campañas, las instalaciones de observación terrestre de ARISE están introduciendo técnicas adicionales para medir la "huella" que dejan los espectros a la vez que utilizan infrasonidos para estudiar los mecanismos que generan estos efectos y también los rayos.

El proyecto ARISE se propone determinar los parámetros que mejor caractericen estos fenómenos de tiempo adverso. En las aplicaciones a largo plazo, las observaciones de la red ARISE podrían integrarse en modelos meteorológicos ya existentes, con el objeto de mejorar la exactitud de las predicciones meteorológicas a corto y medio plazo.

La vigilancia de fenómenos extremos tales como tormentas y ciclones es también importante para determinar la variación de estos fenómenos con el cambio climático.



Oscar Van der Velde

Tormenta en Dakota del Sur (Estados Unidos), 28 de mayo de 2006.

### Meteoritos

La explosión de grandes meteoritos en la atmósfera —que raramente impactan en la superficie terrestre— es, por lo común, notificada por testigos visuales o grabada por cámaras panorámicas. La red de infrasonidos del proyecto ARISE ofrece la posibilidad de vigilar de forma continua la entrada en la atmósfera de estos objetos espaciales.

El infrasonido contribuye a que cada vez haya más datos de observación de meteoritos. A escala global, la frecuencia de meteoritos explosivos es de uno o dos al mes para cuerpos de un metro de diámetro, y de uno por década para cuerpos con diez metros de diámetro. Los casos más importantes pueden detectarse a distancias de hasta miles de kilómetros, como puso de manifiesto el de Sulawesi, que fue detectado por la red de infrasonidos del IMS en octubre de 2009.

La densa cobertura de la red de infrasonidos del proyecto ARISE permitirá detectar y caracterizar cualquier explosión importante de un meteorito que ocurra en la región europea. Las detecciones individuales de infrasonidos ofrecen información estadística sobre las grandes bolas de fuego, y contribuyen a las bases de datos de objetos extraterrestres que colisionan con la Tierra. Los resultados aún serán más interesantes cuando se disponga de las observaciones de otras redes regionales y pueda acotarse o reconstruirse la trayectoria del meteorito original.

### Éxito aparente

El éxito del proyecto ARISE se hace ya patente por el creciente número de miembros asociados y por los vínculos que se han establecido con grupos internacionales involucrados en estudios climatológicos y medioambientales. Algunos fenómenos recientes ya

han sido observados por socios del proyecto ARISE, lo que demuestra la importancia de sus mediciones. El primero de ellos está relacionado con un episodio importante de calentamiento brusco estratosférico que tuvo lugar de diciembre de 2012 a enero de 2013: tres instrumentos del proyecto ARISE instalados en el observatorio de la Alta Provenza pusieron de manifiesto que podía haber una diferencia de temperatura de 20 °C entre los modelos y las observaciones.

Otro está relacionado con el incremento de la actividad del volcán Etna en enero de 2013, cuyas observaciones están ahora siendo analizadas con el objeto de perfeccionar la vigilancia por infrasonidos de las regiones volcánicas remotas. Los resultados obtenidos a partir del análisis de las observaciones del proyecto ARISE ayudarán a describir la dinámica global de estos complejos episodios de gran escala, y contribuirán a aumentar el uso de los datos de ARISE, así como de sus resultados, para la modelización de los mecanismos de dichos eventos y su impacto en el tiempo atmosférico.

La expansión de ARISE en África proporciona también una cobertura excepcional desde las regiones ecuatoriales hasta las polares.

Se puede encontrar más información sobre el proyecto en <http://arise-project.eu>



Howard Edin

*Meteorito atravesando la atmósfera.*